NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Systèmes de détection incendie de tunnels routiers enseignements tirés d'un projet international de recherches

Liu, Z. G.; Kashef, A.; Lougheed, G. D.; Debs, A.; Gottuk, D. T.; Almand, K. H.

This publication could be one of several versions: author's original, accepted manuscript or the publisher's version. / La version de cette publication peut être l'une des suivantes : la version prépublication de l'auteur, la version acceptée du manuscrit ou la version de l'éditeur.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

Routes/Roads, 342, pp. 60-69, 2009-04-01

NRC Publications Record / Notice d'Archives des publications de CNRC:
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=4e8ae6a6-960c-49fa-b2c8-a90901a4b6f4
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=4e8ae6a6-960c-49fa-b2c8-a90901a4b6f4

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

NRC·CNRC Institute for Research in Construction
CNRC·NRC Institut de recherche en construction

http://irc.nrc-cnrc.gc.ca

Systèmes de détection incendie de tunnels routiers enseignements tirés d'un projet international de recherches

NRCC-51268F

Liu, Z.G.; Kashef, A.; Lougheed, G.D.; Debs, A.; Gottuk, D.T.; Almand, K.H.

April 1, 2009

A version of this document is published in / Une version de ce document se trouve dans:
Routes/Roads Magazine of PIARC, no. 342, pp. 60-69

The material in this document is covered by the provisions of the Copyright Act, by Canadian laws, policies, regulations and international agreements. Such provisions serve to identify the information source and, in specific instances, to prohibit reproduction of materials without written permission. For more information visit http://laws.justice.gc.ca/en/showtdm/cs/C-42

Les renseignements dans ce document sont protégés par la Loi sur le droit d'auteur, par les lois, les politiques et les règlements du Canada et des accords internationaux. Ces dispositions permettent d'identifier la source de l'information et, dans certains cas, d'interdire la copie de documents sans permission écrite. Pour obtenir de plus amples renseignements : http://lois.justice.gc.ca/fr/showtdm/cs/C-42

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada | Canada

Systèmes de détection incendie de tunnels routiers
Enseignements tirés d'un projet international de recherches

Groupe de recherche Zhigang G. Liu[1], Ahmed Kashef[1] et Gary Lougheed[1],
avec la participation de Alexandre Debs[2], Daniel T. Gottuk[3] et Kathleen H. Almand[4]

[1]Conseil national de recherches du Canada
[2]Ministère des Transports du Québec
[3]Hughes Associates, Inc.
[4]The NFPA's Fire Protection Research Foundation.

L'augmentation des débits de circulation et du camionnage ainsi que la diversité des matières transportées selon les méthodes du « juste à temps » ont augmenté de façon significative les risques d'incendie majeur aux conséquences potentiellement mortelles en tunnel. En Europe, plusieurs incendies récents en tunnel ont été d'une ampleur catastrophique. Une détection hâtive fait toute la différence entre un incendie rapidement circonscrit et une déflagration impossible à maîtriser [1, 2]. La « Fire Protection Research Foundation » (FPRF) vient de terminer un projet de recherche international dont le but était d'évaluer les performances de divers types de systèmes de détection [3]. Le projet a évalué les temps de réponse, la précision de la détection, la capacité à localiser des incendies, et la résistance à l'environnement routier, de neuf systèmes de détection relevant de cinq types de technologies (Tableau 1).

Cet article présente les installations expérimentales utilisées et une synthèse des résultats.

ESSAIS D'INCENDIE DANS LE TUNNEL-LABORATOIRE

Deux séries d'essais d'incendie ont été réalisées dans le tunnel-laboratoire : la première sans ventilation en limitant le déplacement d'air à une valeur nulle; la seconde série en utilisant le système de ventilation en mode d'extraction pour favoriser un déplacement d'air longitudinal (0, 1,5 et 3 m/s) (Figure 1). L'étude comportait trois catégories de scénarios d'incendie : une nappe de liquide inflammable, un véhicule stationnaire en feu et un véhicule en mouvement en feu, avec pour variables le type, l'intensité, l'emplacement et la vitesse de propagation du feu. L'intensité des incendies variait de 125 à 3 500 kW avec des taux de croissance de 1 à 12 minutes jusqu'à l'atteinte d'un taux maximal de dégagement thermique. Ces simulations ont été réalisées en flammes libres en plaçant la flamme sous et derrière un véhicule. Divers combustibles ont été utilisés : l'essence, le gaz propane, des caissons en bois et de la mousse de polyuréthane. Dans le cas de l'incendie dans un véhicule en mouvement, différentes directions et vitesses ont été prises en compte. L'évolution de chaque incendie et la vitesse de propagation de la fumée étaient mesurées et surveillées au moyen de 55 thermocouples au plafond, de deux nœuds de thermocouple en arborescence, de trois fumimètres, de cinq fluxmètres thermiques, d'un vélocimètre et de deux caméras vidéo.

ESSAIS D'INCENDIE DANS LE TUNNEL VIGER À MONTRÉAL

Des essais d'incendie ont été effectués dans le tunnel Viger à Montréal, en collaboration avec le ministère des Transports du Québec (Figure 5 et 6). Ces essais avaient pour but d'évaluer, dans un tunnel en exploitation, le rendement de six systèmes de détection d'incendie (voir Tableau 1). Le tronçon de tunnel utilisé comporte quatre voies de circulation et mesure 600 m de longueur, 5 m de hauteur et 17 m de largeur. Le tunnel est équipé de quatre ventilateurs de type accélérateur.

Trois types d'incendie ont été retenus, soit celui d'un feu d'une nappe libre d'une intensité de 125 kW et ceux d'une nappe générant 625 kW localisés en dessous et derrière un véhicule factice. La mise à feu a été réalisée en divers points du tunnel (Figure 6) pour quatre vitesses de déplacement d'air longitudinal (0 ; 1,3 ; 2 et 2,4 m/s). Les instruments de mesure comprenaient des thermocouples, des détecteurs de fumée, des vélocimètres et des caméras vidéo.

SIMULATIONS NUMÉRIQUES

Des simulations numériques avec le modèle FDS (Fire Dynamics Simulator) [4] ont été effectuées. Après avoir établi les conditions initiales et les limites de chaque simulation pour les essais correspondants, les valeurs simulées et mesurées des températures et de la densité optique des fumées ont été comparées.

Des simulations ont aussi été effectuées pour déterminer l'incidence de divers paramètres sur l'évolution de l'incendie et le rendement des systèmes de détection, notamment le scénario d'incendie utilisé, le mode de ventilation et la longueur du tunnel. Quatre conditions de ventilation ont été étudiées : aucune ventilation, ventilation longitudinale, ventilation entièrement transversale et ventilation semi-transversale. Différentes longueurs de tunnels, similaires au tunnel-laboratoire (37 m) et au tunnel Viger (500 m), ont été reproduites. Les profils de température et de concentration de suie étaient semblables pour les deux tunnels (Figure 8) ce qui nous permet de conclure que la longueur d'un tunnel n'a pas d'effet significatif sur la température au plafond, ni sur l'accumulation de fumée.

ESSAIS DE RÉSISTANCE ENVIRONNEMENTALE ET D'INCENDIE DANS LE TUNNEL LINCOLN À NEW YORK

Avec la collaboration du Port Authority of New York and New Jersey [5], quatre systèmes de détection relevant de trois technologies de détection d'incendie ont été installés dans le tronçon sud du tunnel Lincoln (D-4C1, D-5C2, D-3F1, D-9S1). Les systèmes installés ont fait l'objet d'un suivi, sur une période de dix mois, aux fins d'une évaluation en particulier de l'entretien et des fausses alarmes.

Des simulations d'incendie ont aussi été effectuées dans ce tunnel à l'aide d'un combustible diesel à l'intérieur d'un fourgon vide dont on avait retiré préalablement toutes les fenêtres (Figure 9). Le feu a brûlé dans des barils d'essence (208 l) placés à l'arrière d'un fourgon. L'incendie, estimé entre 1 et 2 MW, a produit beaucoup de fumée, mais les flammes restaient visibles à travers les fenêtres ouvertes.

Pendant la période de suivi, la température à l'extérieur du tunnel a varié de -12 °C à 33 °C et il est tombé 25 mm de neige et 190 mm de pluie. Les détecteurs ont aussi été exposés à de la suie et à la saleté provenant de la circulation ainsi qu'aux opérations de nettoyage à l'eau et au savon.

L'environnement agressif à l'intérieur du tunnel Lincoln a affecté certains des systèmes. Le système de détection par vidéo des flammes n'a donné aucune fausse alarme, alors que la détection par échantillonnage de l'air n'a donné que deux fausses alarmes. Pour les détecteurs de flammes et le système vidéo de détection d'incendie et de fumées, il était relativement difficile de garder les lentilles optiques propres. Pour ces systèmes vidéo, les fausses alarmes étaient principalement dues aux feux clignotants des véhicules de service et à des conditions de température qui généraient de la buée sur les lentilles. Les reflets du soleil, à l'entrée du tunnel, de même que la saleté et la crasse, à l'intérieur du tunnel, ont aussi causé plusieurs fausses alarmes.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les tunnels routiers constituent un environnement difficile pour les systèmes de détection. Neuf systèmes de détection d'incendie, utilisant cinq des technologies de détection actuellement offertes sur le marché, ont été évalués dans le cadre de ce projet. Un protocole d'essai visant à évaluer diverses technologies de détection a ainsi été élaboré. Le rendement des systèmes de détection choisis a été étudié en tunnel-laboratoire ainsi que dans deux tunnels en exploitation pour différents scénarios d'incendie et de diverses conditions de déplacement d'air longitudinal.

De manière générale, les résultats démontrent que le rendement des systèmes de détection varie en fonction du type de combustible, de l'importance de l'incendie, de son emplacement et de sa progression et dépend, en outre, de la méthode de détection. Le système de détection par échantillonnage d'air a été en mesure de détecter les incendies correspondant à la plupart des scénarios, y compris ceux avec déplacement d'air longitudinal. Les détecteurs linéaires de chaleur peuvent aussi détecter la plupart des scénarios d'incendie. Les systèmes qui dépendent d'un champ de vision peuvent difficilement détecter les incendies dissimulés derrière un obstacle. Pour pallier cette difficulté, il faudrait utiliser plusieurs détecteurs de ce type à des intervalles plus rapprochés. Les systèmes vidéo, qui analysent les caractéristiques des flammes et fumées, donnent les meilleurs résultats de détection dans un environnement propre, mais leurs résultats en termes de fausses alarmes dans l'environnement d'un tunnel en exploitation sont mitigés. Les systèmes de détection ponctuelle de chaleur, pour leur part, sont incapables de détecter les feux de faible importance (< 1,500 kW).

Pour la plupart des systèmes de détection, les petits feux allumés sous un véhicule sont difficiles à détecter (Figures 2 et 3). En effet, les flammes et la chaleur produites par ces feux sont confinées par le véhicule. Mais au fur et à mesure que le feu progresse, la détection se fait plus rapidement.

Dans le cas d'un feu amorcé dans le compartiment moteur ou dans l'habitacle d'un véhicule à l'arrêt, la réponse des systèmes de détection est lente car ces feux progressent lentement. Dans les premières minutes, ils produisent peu de flamme, de chaleur et de fumée. Le temps le plus rapide, pour ce type de feu, est d'environ 180 s et ce délai tend à s'allonger en présence de déplacements d'air.

La détection d'un incendie léger dans un véhicule en mouvement est également difficile car il n'entraîne pas de changement de température ou de densité de fumée dans le tunnel. Le détecteur optique de flammes a détecté ce type d'incendie dans un véhicule qui se déplaçait à 27 km/h, mais ne l'a pas détecté lorsque le véhicule roulait à 50 km/h. Aucun autre type de système n'a réussi à détecter l'incendie dans un véhicule en déplacement.

Dans le cas de feux localisés à l'arrière d'un gros véhicule, les temps de réponse des systèmes de détection de chaleur s'allongent proportionnellement à l'augmentation du débit de déplacement d'air. Peu visibles, ces feux sont difficiles à détecter par les détecteurs optiques de flamme et les détecteurs vidéo. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'il y a un déplacement d'air qui fait pencher les flammes en direction du véhicule et par la déformation de la flamme qui en résulte. De plus, dans le cas des incendies d'importance qui progressent rapidement, le temps de détection disponible pour les systèmes vidéo avant qu'une fumée dense ne se forme, est sensiblement réduit (< 1 min).

Dans le cas d'une flamme libre derrière un véhicule, les temps de réponse des systèmes de détection par la chaleur, étaient généralement plus courts pour de faibles vitesses du courant d'air, car le courant d'air longitudinal a tendance à diminuer les températures au plafond (Figure 4). Pour les détecteurs optiques de flammes et les détecteurs sur image vidéo, le temps de détection varie proportionnellement

à la vitesse des courants d'air longitudinaux.

Les rendements des systèmes de détection installés dans le tunnel Viger correspondent bien aux résultats obtenus sous les mêmes conditions, en tunnel-laboratoire.

Lorsqu'on prend en compte tous les facteurs de rendement, en incluant les fausses alarmes, l'entretien et la performance de détection, il a été constaté que les systèmes d'échantillonnage d'air offrent une bonne performance. Ils ont permis d'obtenir un faible taux de fausses alarmes et ont détecté le pourcentage le plus élevé d'incendies.

En général, les systèmes de détection dans lesquels intervient un champ de vision ont donné des résultats limités à cause de la nature confinée du feu utilisé (feu à l'intérieur d'un véhicule et visible par les fenêtres ouvertes). Pourtant, ce scénario est tout à fait réaliste lorsque qu'on imagine un incendie obstrué par un embouteillage de plusieurs véhicules. Pour être en mesure de détecter ces incendies, la plupart des fabricants de détecteurs à champ de vision recommandent d'utiliser deux appareils pour couvrir chaque section à partir de deux angles différents, par exemple à partir des deux directions à l'intérieur du tunnel. Cette méthode suppose l'emploi de plusieurs appareils ayant un rayon d'action de 15 à 60 m environ ou davantage, selon l'importance des feux à détecter.

Pour ce qui a trait aux températures, de manière générale, il existe une bonne corrélation entre les prédictions des modèles numériques et les données expérimentales. Parmi les méthodes de ventilation étudiées par modèle numérique, le système de ventilation d'alimentation semi-transversal est celui qui a donné les températures au plafond et les fractions de volume de suie les plus élevées. Les systèmes de ventilation d'évacuation transversale et semi-transversale ont donné des résultats de température au plafond et de suie comparables. Le système de ventilation longitudinal est celui qui a donné les températures moyennes au plafond les plus faibles (Figure 8). Le système de ventilation d'alimentation semi-transversal a donné le taux de croissance des températures au plafond le plus rapide et le système de ventilation d'évacuation semi-transversal, le taux de croissance des températures au plafond le plus lent. Ces facteurs, qui déterminent l'état de la couche de fumée, affectent la capacité de détection des détecteurs installés au plafond des tunnels.

Les données obtenues par le programme de recherches pourront être utiles aux fabricants de systèmes de détection qui souhaitent continuer d'améliorer leurs technologies. Les spécialistes en tunnels, pour leur part, peuvent s'appuyer sur ces résultats pour être à même de choisir les technologies qui conviennent le mieux à leurs besoins. Enfin, le comité technique de la NFPA, chargé d'élaborer la norme sur les tunnels routiers (Standard 502, *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*), se propose d'inclure certaines recommandations du programme dans une édition ultérieure de la norme.

Le rapport complet peut être consulté sur le site www.nfpa.org/Foundation .

RÉFÉRENCE

1. AIPCR, «Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers», Association mondiale de la Route, 1999.
2. NFPA 502, «Standard for Road Tunnels, Bridges, and other Limited Access Highways», National Fire Protection Association, 2004.
3. Kashef, A.; Liu, Z.G.; Crampton, G.P.; Lougheed, G.D.; Hadjisophocleous, G.; Almand, K.H. «Findings of the international road tunnel fire detection research project», Special edition of Fire Technology on the best detection papers and presentations of SUPDET 2008, pp. 22.
4. K.B. McGrattan, «Fire Dynamics Simulator (Version 4) – Technical Reference Guide», NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2005.
5. Gottuk, D.T. and Mawhinney, J., «International Road Tunnel Fire Detection Research Project – Tasks 5 and 6: Monitoring and Fire Demonstrations in the Lincoln Tunnel», Hughes Associates, Inc., Baltimore, 2008.

Tableau 1. Détecteurs et systèmes de détection d'incendie évalué

Technologie	Système	Détails du système
Détection linéaire de la chaleur (DLC)	D-1L1 (*)	détection de chaleur linéaire sur fibre optique
	D-2L2 (*)	Détection de chaleur linéaire analogique (câble co-axial)
Détection optique des flammes (DOF)	D-3F1 (*)	détection de flamme optique IR3
Détection par imagerie vidéo (VID)	D-4C1 (*)	détection visuelle de l'incendie et de la fumée
	D-5C2 (*)	détection visuelle des flammes
	D-6C3 (*)	détection visuelle de l'incendie
Détection ponctuelle de la chaleur (DPC)	D-7H1	détection de chaleur à température fixe
	D-8H2	détection de chaleur à taux prévisionnel
Détection de la fumée dans l'air (DFA)	D-9S1	détection par échantillonnage de l'air

(*) systèmes également utilisés dans le tunnel Viger à Montréal

Figure 1. Schéma du tunnel-laboratoire et installation des systèmes de détection

Figure 2. Photographie d'une nappe incendiée sous un véhicule dans le tunnel-laboratoire

Figure 3. Temps de détection d'une nappe incendiée sous un véhicule (essais dans le tunnel-laboratoire)

Figure 4. Temps de détection d'une nappe incendiée de 2 m² derrière un véhicule (essais dans le tunnel-laboratoire)

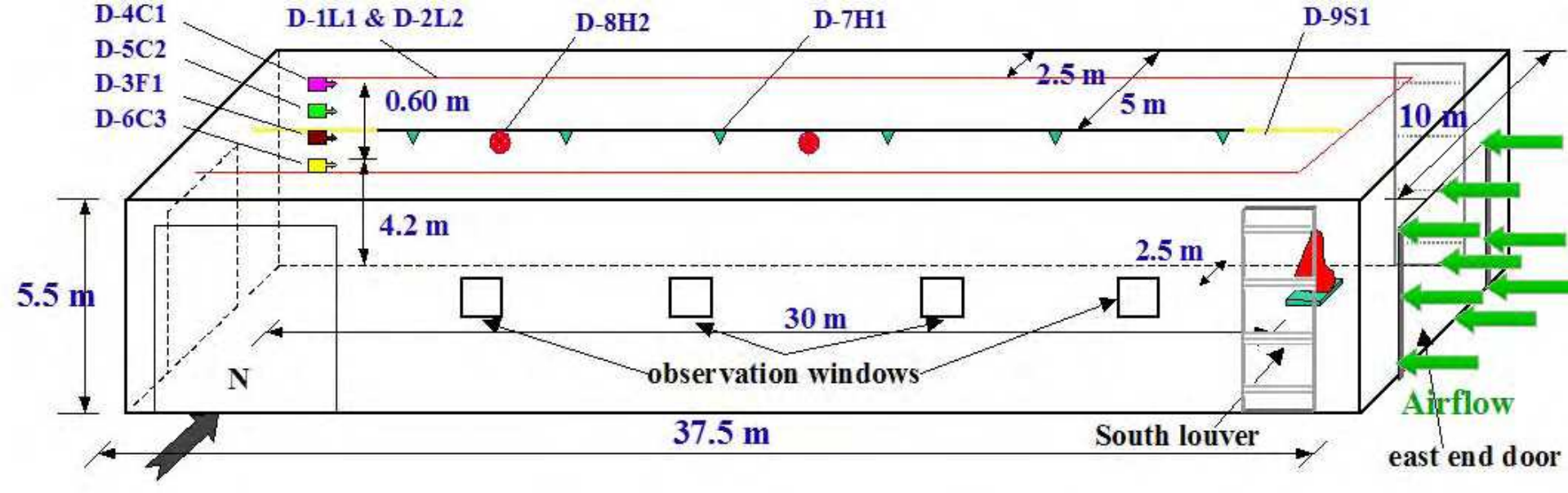
Figure 5. Photographie d'un essai d'incendie dans le tunnel Viger

Figure 6. Schéma de l'installation des systèmes de détection dans tunnel Viger

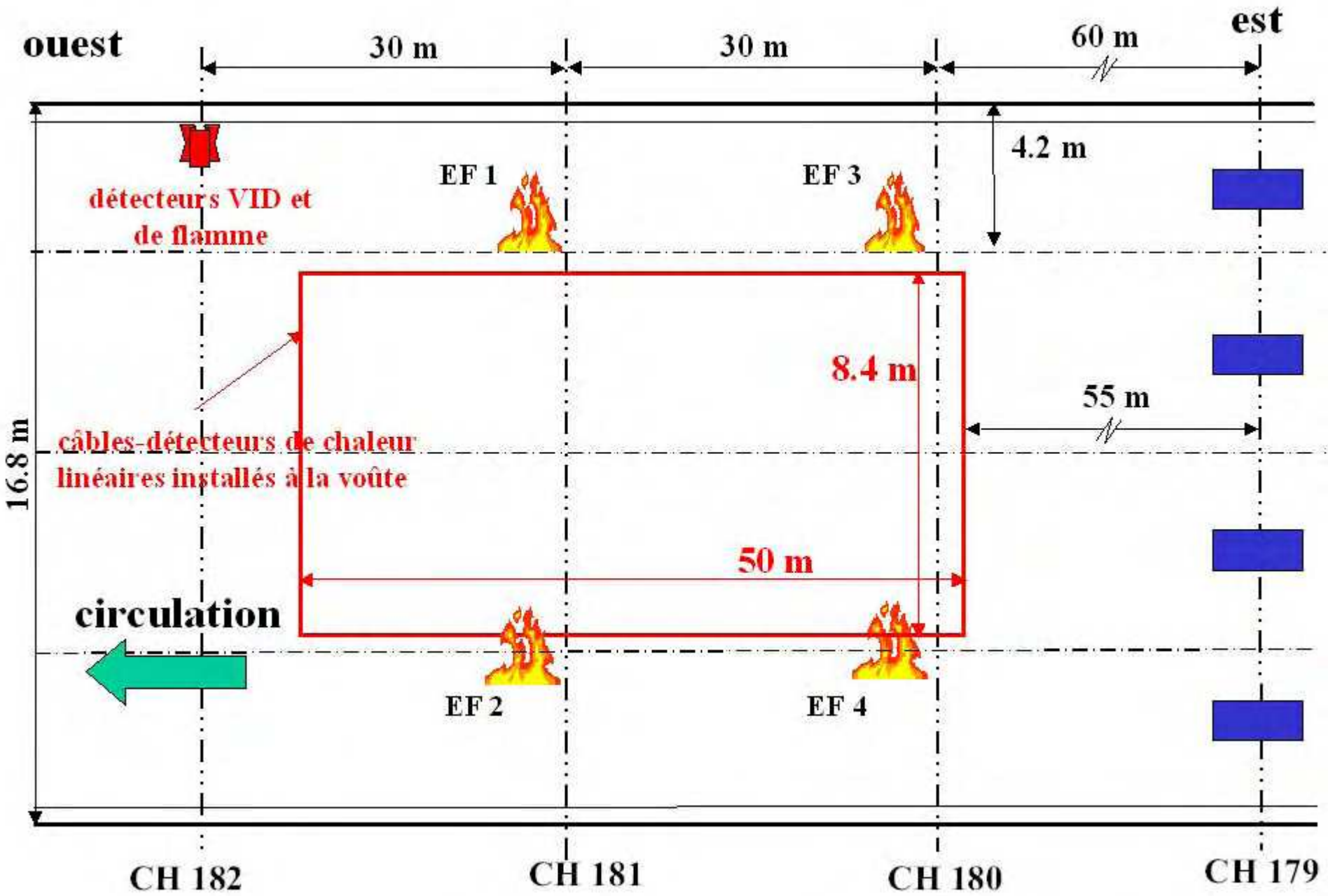
Figure 7. Temps de détection d'une nappe incendiée en feu libre de 0,02 m² (essais dans le tunnel Viger)

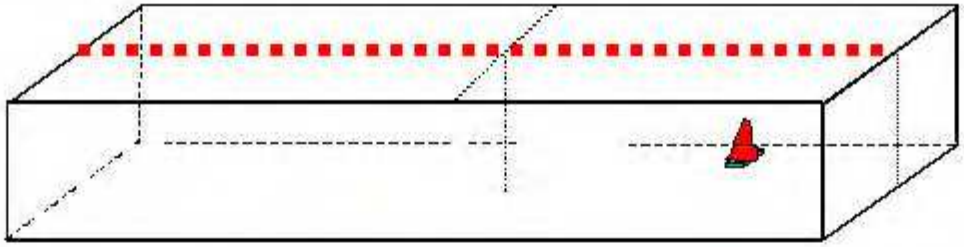
Figure 8. Températures moyennes de déplacement d'air et fractions moyennes de volume de suie pour différentes longueurs de tunnel (simulation numérique)

Figure 9. Photographie de l'essai d'incendie dans le tunnel Lincoln


D-4C1
D-5C2
D-3F1
D-6C3
D-1L1 & D-2L2
D-8H2
D-7H1
D-9S1
0.60 m
2.5 m
5 m
10 m
4.2 m
5.5 m
2.5 m
30 m
observation windows
N
37.5 m
South louver
Airflow
east end door

SORTIE


ouest
est
30 m
30 m
60 m
4.2 m
détecteurs VID et
de flamme
EF 1
EF 3
8.4 m
55 m
câbles-détecteurs de chaleur
linéaires installés à la voûte
16.8 m
50 m
circulation
EF 2
EF 4
CH 182
CH 181
CH 180
CH 179



température de voûte

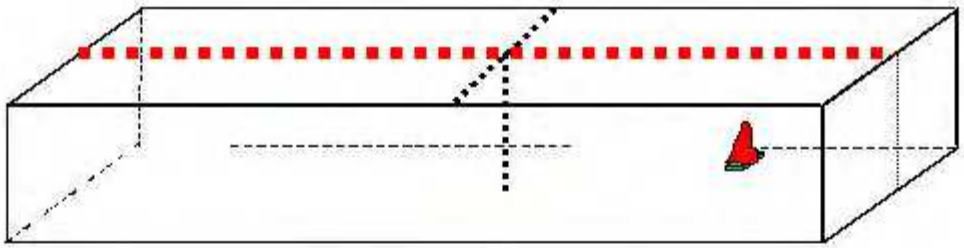
ventil. transversale - 500 m
ventil. transversale - 37.5 m
ventil. longitudinale - 500 m
ventil. longitudinale - 37.5 m
absence de ventilation - 500 m
absence de ventilation - 37.5 m

160
120
80
40
0

température (°C)

40 35 30 25 20 15 10 5 0

distance le long de l'axe longitudinal du tunnel (m)



suie de voûte

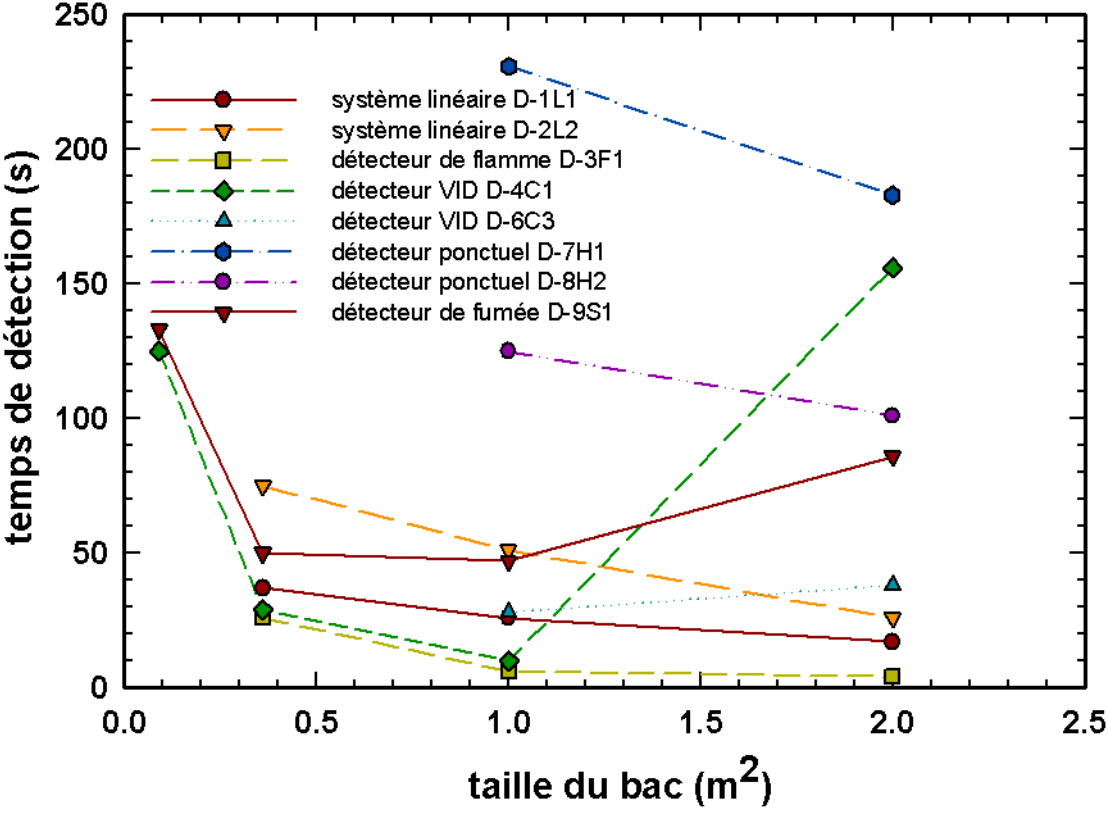
ventil. transversale - 500 m
ventil. transversale - 37.5 m
ventil. longitudinale - 500 m
ventil. longitudinale - 37.5 m
absence de ventilation - 500 m
absence de ventilation - 37.5 m

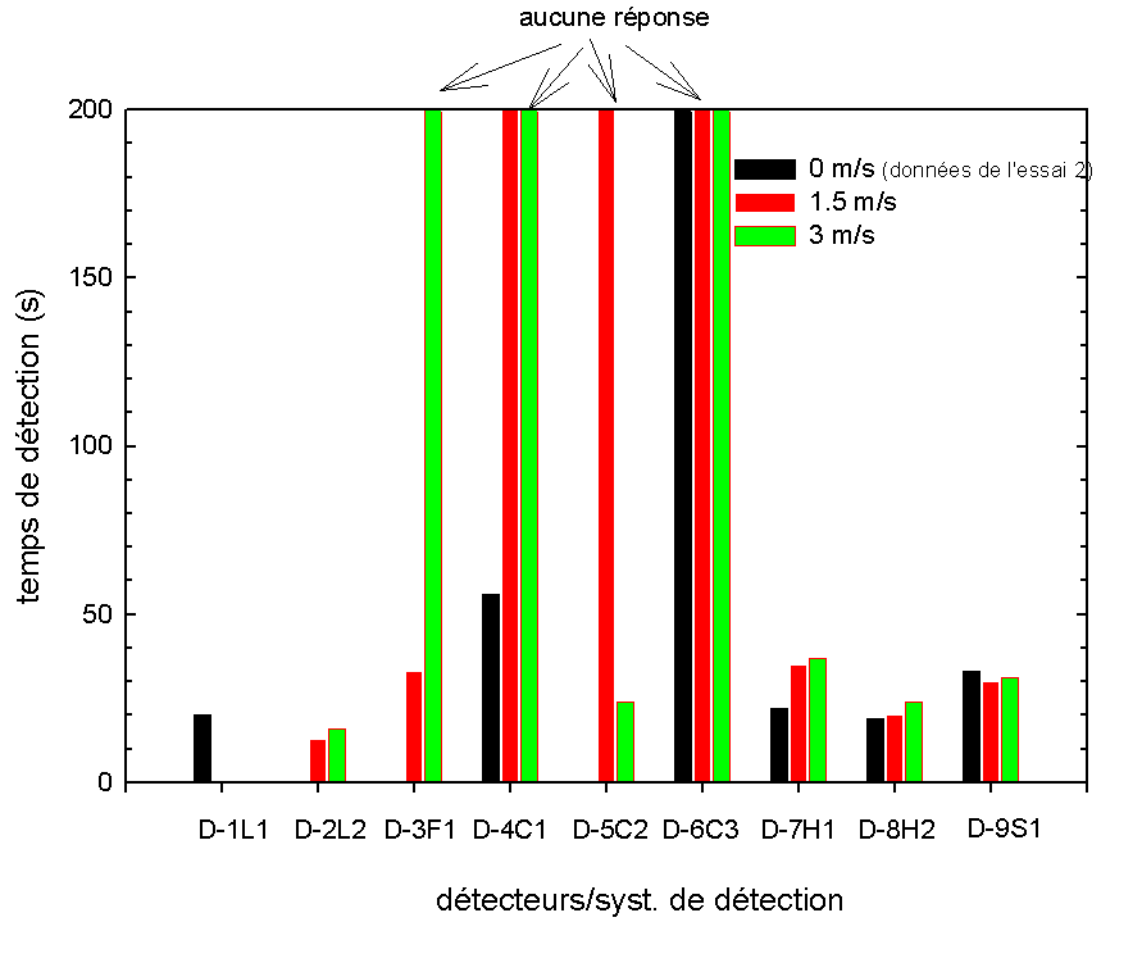
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00

fraction de volume de suie (ppm)

40 35 30 25 20 15 10 5 0

distance le long de l'axe longitudinal du tunnel (m)


250
200
150
100
50
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
temps de détection (s)
taille du bac (m2)
système linéaire D-1L1
système linéaire D-2L2
détecteur de flamme D-3F1
détecteur VID D-4C1
détecteur VID D-6C3
détecteur ponctuel D-7H1
détecteur ponctuel D-8H2
détecteur de fumée D-9S1


aucune réponse
200
150
100
50
0
temps de détection (s)
0 m/s (données de l'essai 2)
1.5 m/s
3 m/s
D-1L1
D-2L2
D-3F1
D-4C1
D-5C2
D-6C3
D-7H1
D-8H2
D-9S1
détecteurs/syst. de détection